



УДК 681.5.013

## СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

### SYNTHESIS OF ELECTRIC SPEED CONTROLLER IN THE SPECTRAL REGION

**Бородин Михаил Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: bmu@k66.ru, Тел.: +7(922)223-66-54

**Кондаков Константин Андреевич**, студент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: chelovek103@mail.ru. Тел.: +7(982)640-54-35

**Грязнов Артем Андреевич**, студент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: Argryaznov@ya.ru. Тел.: +7(912)656-75-00

**Mikhail Yu. Borodin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department «Electrodrive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: bmu@k66.ru. Ph.: +7(922)223-66-54

**Konstantin A. Kondakov**, Student, Department « Electrodrive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: chelovek103@mail.ru. Ph.: +7(982)640-54-35

**Artem A. Gryaznov**, Student, Department « Electrodrive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: Argryaznov@ya.ru. Ph.: +7(912)656-75-00

**Аннотация:** Рассматривается общий порядок и структура алгоритмов решения основной задачи анализа систем управления различных классов при детерминированных воздействиях.

**Abstract:** We consider the general order and structure of algorithms for solving the basic problems of the analysis of different classes of control systems for deterministic effects.

**Ключевые слова:** двумерная нестационарная передаточная функция; стационарное звено; элементарное звено; сопряженная передаточная функция.

**Key words:** two-dimensional non-stationary transfer function; inpatient element; elementary element; conjugate transfer function.

#### ВВЕДЕНИЕ

Обращаясь к применению аппарата частотных характеристик, видим, что сплошность спектра сигналов при неопределенной периодичности сигналов хорошо согласуется с аппаратурой непрерывных («аналоговых») систем, т.к. для любого произвольного значения частоты ( $\omega$ , стало быть, периода повторения процессов) можно указать коэффициент передачи амплитуды компонента САУ и сдвиг фазы. Эти представления и легли в основу группы частотных методов ТАУ в задачах анализа и синтеза непрерывных систем в классической постановке.

Вместе с тем, исследователей давно привлекали возможности непосредственной обработки спектров сигналов при цифровой реализации

регуляторов и САУ в целом. Идея состоит в том, что непрерывность и стационарность частотных характеристик регулятора в аналоговой системе избыточны в конкретном режиме электропривода и недоиспользованы в общем случае. Более того, могут служить источником нежелательных эффектов, например, пульсаций тока статора при расширении полосы пропускания контура скорости. Другой пример – наличие в канале управления колебательных звеньев, упругостей силового или измерительного плана. Попытка повышения быстродействия контура скорости приводит к возбуждению автоколебаний. Как пример спектрального подхода к синтезу алгоритмов регулятора скорости, рассмотрим ранее выполненную разработку на кафедре под руководством Кулесского Р.А.[2]. Известно, что

сигнал датчика скорости содержит полезный сигнал и совокупность помех. Изложенные выше представления о сигнале регулятора скорости как наборе синусоидальных сигналов позволяют представить подавление оборотных помех как ограничение полосы пропускания путем увеличения постоянной фильтра в канале

обратной связи по скорости. Однако при этом ухудшаются статические и динамические характеристики электропривода. Было предложено изменять полосу пропускания регулятора скорости на время переходного процесса приема – сброса нагрузки.

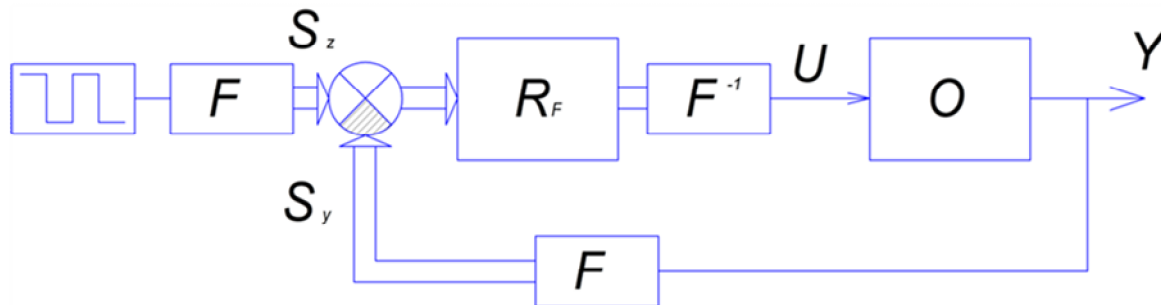


Рис. 1.Обобщенная схема

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ОДНОМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПО ПЕРЕДАТОЧНЫМ ФУНКЦИЯМ ЗВЕНЬЕВ

Составив расчетную схему системы, выделяем в ней отдельные непрерывные и дискретные звенья с одинаковым числом тактовых моментов на входе и выходе, дискретные элементы, звенья понижения такта, экстраполяторы, звенья чистого сдвига и т. п. Далее составляем выражение для искомом двумерной передаточной функции через передаточные функции выделенных звеньев на основе формул для переданных функций соединений линейных звеньев:

$$W_{qp*} = W_{qp*}^1 + W_{qp*}^2$$

$$W_{qp*} = W_{qp*}^2 W_{qp*}^1$$

структурная схема.

$$\Phi_{qp*} = \left( E + W_{qp*}^2 W_{qp*}^1 W_{qp*}^3 \right)^{-1} W_{qp*}^2 W_{qp*}^1,$$

где  $\Phi$  – двумерная нестационарная передаточная функция замкнутой системы.

$$\Phi_{qp*} = W_{qp*}^2 \left( E + W_{qp*}^1 W_{qp*}^3 W_{qp*}^2 \right)^{-1} W_{qp*}^1$$

$$\Phi_{qp*} = W_{qp*}^2 W_{qp*}^1 \left( E + W_{qp*}^3 W_{qp*}^2 W_{qp*}^1 \right)^{-1}$$

$$\Phi_{qp*} = \left( W_{qp*}^1^{-1} W_{qp*}^2^{-1} + W_{qp*}^3 \right)^{-1}$$

По этому выражению, вычисляя предварительно передаточные функции отдельных звеньев, находим числовую матрицу искомой передаточной функции.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ОТДЕЛЬНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Определение двумерных нестационарных передаточных функций отдельных нестационарных звеньев возможно по следующим алгоритмам:

1) По импульсной переходной функции на основе формул, являющихся определением двумерной передаточной функции:

нестационарная нормальная передаточная функция:

- непрерывной системы

$$N_q(h, t, \tau) = \int_0^t q^*(h, t, \tau) k(\theta, \tau) d\theta$$

-дискретной системы

$$N_q(h, L, m) = \sum_{l=0}^{L-1} q^*(h, L, l) k(l, \tau)$$

-Д-Н непрерывно-дискретная система

$$N_q(h, L, \tau) = \sum_{l=0}^{L-1} q^*(h, L, l) k(l, \tau)$$

-Н-Д непрерывно-дискретная система

$$N_q(h, t, m) = \int_0^t q^*(h, t, \theta) k(\theta, m) d\theta.$$

Нестационарная сопряженная функция :

-непрерывной системы

$$H_p(i, t, \theta) = \int_0^t p(i, t, \tau) k(\theta, \tau) d\tau$$

- дискретной системы

$$H_p(i, M, m) = \sum_{M=0}^{M-1} p(i, M, m)k(l, m)$$

-Д-Н непрерывно-дискретной системы

$$H_p(i, t, l) = \int_0^t p(i, t, \tau)k(l, \tau)d\tau$$

-Н-Д непрерывно-дискретной системы

$$H_p(i, M, \theta) = \sum_{M=0}^{M-1} p(i, M, m)k(\theta, m)$$

Двумерная нестационарная функция линейных систем:

-непрерывных

$$W_{qp^*}(h, i, t, t) = \int_0^t d\theta \int_0^t q^*(h, t, \theta)p(i, t, \tau)k(\theta, \tau)d\tau$$

-дискретных

$$W_{qp^*}(h, i, L, M) = \sum_{L=0}^{L-1} \sum_{M=0}^{M-1} q^*(h, L, l)p(i, M, m)k(l, m)$$

-Д-Н непрерывно-дискретных

$$W_{qp^*}(h, i, L, t) = \sum_{L=0}^{L-1} \int_0^t q^*(h, l, L)p(i, t, \tau)k(l, \tau)d\tau$$

-Н-Д непрерывно-дискретных

$$W_{qp^*}(h, i, t, M) = \int_0^t d\theta \sum_{M=0}^{M-1} q^*(h, t, \theta)p(i, M, m)k(\theta, m).$$

2) По импульсной переходной функции, заданной в виде вырожденной функции своих аргументов путем перемножения передаточных функций элементарных звеньев.

3) По нестационарно-сопряженной или нормальной передаточной функции: связь двумерной нестационарной передаточной функции с нормальной для систем:

-непрерывных

$$W_{qp^*}(h, i, t, t) = \int_0^t p(i, t, \tau)N_q(h, t, \tau)d\tau$$

-дискретных

$$W_{p^*}(h, i, L, M) = \sum_{M=0}^{M-1} p(i, M, m)N_q(h, l, m)$$

-Д-Н непрерывно-дискретных

$$W_{qp^*}(h, i, L, t) = \int_0^t p(i, t, \tau)N_q(h, L, \tau)d\tau$$

-Н-Д непрерывно-дискретных

$$W_{qp^*}(h, i, t, M) = \sum_{M=0}^{M-1} p(i, M, m)N_q(h, t, m)$$

связь двумерной нестационарной передаточной функции с сопряженной для систем:

-непрерывных

$$W_{qp^*}(h, i, t, t) = \int_0^t q^*(h, t, \theta)H_p(i, t, \theta)d\theta$$

-дискретных

$$W_{qp^*}(h, i, L, M) = \sum_{L=0}^{L-1} q^*(h, L, t)H_p(i, M, l)$$

-Д-Н непрерывно-дискретных

$$W_{qp^*}(h, i, L, t) = \sum_{L=0}^{L-1} q^*(h, L, t)H_p(i, t, l)$$

-Н-Д непрерывно-дискретных

$$W_{qp^*}(h, i, t, M) = \int_0^t q^*(h, t, \theta)H_p(i, M, \theta)d\theta.$$

- 1)
- 2) По уравнению звена для стационарных звеньев, с помощью операций с передаточными функциями элементарных звеньев.
- 3) 4) Экспериментальным путём.
- 4)

Наиболее универсальный способ определения двумерных нестационарных передаточных функций отдельных звеньев – по уравнению звена. Практически он не имеет ограничений на порядок уравнения, количество и форму его переменных коэффициентов. Фактически его всегда можно использовать, так как уравнения звеньев обычно известны. Для определения передаточной функции всей системы этот способ не всегда применим, не говоря уже о других. Причина ограничения этого способа лежит вне его – найти уравнение нестационарной системы с переменными параметрами по уравнениям ее звеньев обычно трудно. Поэтому способ определения двумерных передаточных функций по дифференциальным и разностным уравнениям целесообразно сочетать со способом определения передаточных функций системы по передаточным функциям ее звеньев. Такое сочетание дает наиболее простой и универсальный путь определения передаточных функций сложных многоконтурных систем.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ СТАЦИОНАРНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Нестационарные передаточные функции звеньев с постоянными параметрами можно вычислять теми же способами, что и систем с переменными параметрами. При использовании этих способов постоянство параметров системы упрощает определение передаточной функции по дифференциальному или разностному уравнению, поскольку отпадает необходимость вычислять передаточные функции усилительных звеньев.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Передаточные функции элементарных звеньев используются для вычисления двумерных передаточных функций по уравнениям звеньев, по импульсной переходной функции, представленной как вырожденная функция своих аргументов, по структурной схеме, где выделены элементарные звенья. Наиболее простые способы получения двумерных передаточных функций элементарных звеньев:

- 1) из справочного материала, где искомые передаточные функции представлены в виде матриц общего вида и числовых таблиц;
- 2) по рекуррентным алгоритмам;
- 3) перемножением матриц передаточных функций элементарных звеньев.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СОПРЯЖЕННЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ

Определение нестационарных сопряженных передаточных функций возможно следующими способами:

- 1) по импульсной переходной функции на основе формул, являющихся определением сопряженной передаточной функции;
- 2) по импульсной переходной функции, заданной в виде выраженной функции своих аргументов путём перемножения передаточных функций элементарных звеньев;
- 3) путём решения дифференциального, разностного, дифференциально-разностного

- уравнения звена с правой частью, определяемой базисными функциями;
- 4) экспериментальным путём.

## ВЫВОДЫ

Рассмотренное введение нестационарных спектров систем базисных функций, отличных от традиционных гармонических функций, ведет к дальнейшему качественному совершенствованию систем управления. Рассмотренные способы определения передаточных функций позволяют провести синтез регуляторов и рассматривать спектр сигнала для систем управления электроприводами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет систем управления на ЦВМ: Спектральный и интерполяционный методы/В.В. Солодовников, В.В. Семенов, М. Пешель, Д.Недо; Под ред. В.В. Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1979.
2. Бородин М.Ю. Кулесский Р.А. Синтез нелинейных цифровых регуляторов промышленных электроприводов для работы в условиях помех //Электротехническая промышленность. Электропривод. 1982. Вып.6(104). С.3-6.
3. Бородин М.Ю., Бородин Е.М., Грязнов А.А., Кондаков К.А.. Применение спектрального метода к синтезу систем управления электроприводом// Научно- технический и учебно-образовательный журнал “Электромеханика”. Вып. 2(544). С. 34-38.